



ENERGIA, SUSTENTABILIDADE, MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE

ECONOMIA CIRCULAR E DESIGN: OPORTUNIDADES DA RECICLAGEM DO PLA RESÍDUOS DE IMPRESSÃO 3D

¹Letícia Faria Teixeira, Universidade do Estado do Pará, leticiafariatx@gmail.com

²Thaís Yuriko Fernandes Sozinho, Universidade do Estado do Pará, thaisyfsozinho@gmail.com

³Mércia Mendonça da Silva, Universidade do Estado do Pará, merciasilva212@gmail.com

⁴Núbia Suely Silva Santos, Universidade do Estado do Pará, nubiatrib@yahoo.com.br.

RESUMO

O plástico é um material utilizado em larga escala pela indústria, no entanto seu descarte inadequado gera um grande volume de resíduos nocivos ao meio ambiente, além de reduzir o ciclo de vida do material. A economia circular propõe alternativas para extensão da vida útil do material/produto, ao mesmo tempo em que oferece oportunidades para mudanças no atual modelo produtivo em um contexto de sustentabilidade, englobando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Os termoplásticos e os biopolímeros, como o Polímero Láctico (PLA), são exemplos de materiais que podem ser reinseridos na cadeia produtiva por meio da reciclagem. Neste trabalho é realizada a coleta de resíduos de PLA para reciclagem e utilização como matriz polimérica em compósitos reforçados com fibras vegetais. O aproveitamento dos resíduos de PLA surge como oportunidade na elaboração de novos materiais sustentáveis.

Palavras-chave: Biopolímeros; Biocompósitos; Fibras naturais; Manufatura aditiva.

INTRODUÇÃO

A extração de recursos e a emissão de substâncias no meio ambiente se constituem como as principais formas de impacto ambiental no sistema de produção e consumo, que é composto pelo descarte de uma quantidade insustentável de resíduos no meio ambiente (MAZINI; VEZZOLI, 2016). O grande volume de plásticos pós-consumo descartados na natureza gera a obsolescência desse material. Essa massa de resíduos sólidos descartados inadequadamente causa constantes alterações ao ambiente, sendo o plástico visto como um dos principais agentes de degradação do mesmo, pois prejudica os ecossistemas, por ter uma decomposição extremamente tardia não sendo biodegradáveis e, portanto, permanecendo no meio ambiente por um longo tempo (SILVA et al., 2013).

No atual modelo produtivo, é perceptível a dificuldade de conciliar a racionalidade econômica e a ecológica; enquanto o setor econômico tem como objetivo a eficiência econômica (mais valia ou lucro), a racionalidade ecológica busca a contenção de recursos naturais protegendo o meio ambiente, sendo a conciliação desses setores importante para a sustentabilidade (MAZINI; VEZZOLI, 2016). Portanto, o presente trabalho tem como objetivo principal a conciliação dos fatores econômicos e ambientais por intermédio da economia circular – que tem como fim restringir a dependência de materiais finitos e de



fontes de energia não renováveis, nos processos produtivos, simultaneamente ao oferecimento de oportunidades a sociedade – como alternativa ao modelo linear de extração, transformação e descarte (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016). O objetivo deste trabalho é apresentar possibilidades de aproveitamento dos resíduos de PLA obtidos do processo de impressão 3D, através de experimentos conduzidos no Laboratório de Materiais e Design da UEPA. Os resíduos de PLA serão utilizados na elaboração de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais, como a juta, e com pó de madeira.

ECONOMIA LINEAR vs. ECONOMIA CIRCULAR

O atual modelo econômico é baseado nos processos de extração, transformação e descarte da matéria-prima (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018; NERY; FREIRE, 2017). Os processos produtivos nesse modelo dependem de uma grande quantidade de matérias-primas e energia, de modo que, o consumo exacerbado e negligente de recursos gera o descarte de elevadas quantidades de resíduos indesejados na natureza. Nesse modelo de Economia Linear, há um ciclo em linha de bens de consumo não duráveis e descartáveis, o qual não considera a educação de preservação ambiental e a conscientização ecológica coletiva (DE MORAES, 2010).

O plástico é amplamente utilizado como matéria-prima por suas propriedades mecânicas e físicas e seu baixo custo de produção. No entanto, após o consumo se torna um dos principais problemas econômicos e ambientais; o seu descarte inadequado – principalmente de embalagens as quais se perdem durante o ciclo produtivo – causa a degradação e a poluição dos ecossistemas marinhos e ambientes urbanos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016). O aumento da quantidade de plástico utilizado, dado o crescimento de sua aplicação em diversos produtos; a baixa taxa de reciclagem e a quantidade de recursos naturais finitos, além da degradação do capital natural, tornam preocupante o volume abundante de plástico desperdiçado e descartado na natureza, e os impactos ambientais que esse pode causar ao meio ambiente. Em síntese, uma vez que a produção da maior parte dos plásticos depende de matérias-primas fósseis oriundas do petróleo, sendo, portanto, tóxicas ao meio ambiente torna-se necessária a busca por alternativas que possam substituir, em parte, o atual modelo econômico e produtivo relacionado ao plástico.



A atual tríade de – produção, consumo e meio ambiente, ganha cada vez mais destaque quando são analisados aspectos como a rápida evolução tecnológica; as matérias-primas e sua livre circulação; a globalização e o aumento produtivo e mercadológico em diferentes regiões, relacionados à sustentabilidade ambiental (DE MORAES, 2010). Desse modo, a economia circular tem como propósito a manutenção do produto, mantendo o mesmo e seu material em utilização, bem como seu valor agregado no mais alto nível (SILVA, 2016a). Assim, seu objetivo é a separação do desenvolvimento econômico do consumo de recursos limitados, alinhando fatores tecnológicos e sociais e reduzindo impactos ambientais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Ao manter o produto em circulação dentro da cadeia produtiva, quebra-se o modelo linear de produção e de consumo de recursos finitos. Seus princípios básicos abrangem a preservação e aprimoramento destes recursos por meio do controle; utilização de tecnologias e processos que empregam recursos renováveis; e a circulação dos produtos e materiais no ciclo biológico e técnico, em que o produto é projetado para durar, prolongando o ciclo de vida útil desse (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015; SILVA, 2016b). Nesse sentido, após o consumo esse é direcionado para reciclagem e/ou reutilização, mantendo-se em constante renovação e circulação na cadeia produtiva.

Na fase de projeto e produção do produto devem ser analisados aspectos relacionados ao material, já objetivando a reciclagem ou reutilização, bem como alternativas frente ao descarte. Também devem ser avaliadas as questões ambientais na escolha dos materiais e processos, em que o material empregado deve ser selecionado levando-se em conta o baixo impacto ambiental, sendo atóxico tanto no processo de confecção quanto de produção (DE MORAES, 2010). Para os problemas referentes ao plástico, voltados à questão ambiental, devem ser selecionados polímeros atóxicos para o meio ambiente, tanto em sua fabricação quanto em sua origem (biopolímeros).

O processo de manufatura aditiva ou processo de impressão 3D tem beneficiado a área de design, em razão da confecção de produtos personalizados com baixas restrições de fabricação, não só relacionadas ao seu formato e produção, como também, ao material empregado (DIEGEL et al., 2010). Com as tecnologias aditivas, novas aplicações de matérias são utilizadas na manufatura aditiva, e novas tecnologias são desenvolvidas. Um exemplo é a impressão 3D, que comumente emprega um termoplástico biodegradável, o ácido polilático (PLA), em seu processo. A aplicação de novos materiais e processos produtivos possibilita a



longevidade e personalização de produtos, de forma a corroborar com o Design sustentável no que tange a inclusão de produtos sustentáveis na confecção de artefatos que reduzam seu impacto no meio ambiente, alcançando benefícios econômicos e sociais (DIEGEL et al., 2010).

Por meio da economia circular e das diferentes abordagens para a circulação de um produto na cadeia produtiva, o presente artigo visa à geração de alternativas para a manutenção do plástico na cadeia produtiva, estender a vida útil do produto, no caso do PLA. Por meio da reciclagem dos resíduos de PLA resultante do processo de impressão 3D, de modo que tem se a vantagem da biodegradabilidade, sem grandes prejuízos ao meio ambiente, o qual coincide com a sustentabilidade ambiental, na escolha de recursos de baixo impacto ambiental (DE MORAES, 2010), e, portanto, tem se a necessidade de estender seu ciclo de vida, mantendo sua utilidade. Sendo por intermédio da realização de experimentações e da reciclagem mecânica desse polímero, o desenvolvimento de possíveis alternativas para utilização desses, a fim de averiguar novas soluções ao descarte do plástico e sua obsolescência.

Para que se tenha um conhecimento mais amplo dos processos de produção e consumo do PLA, é importante conhecer os provedores desse material – os *makerspaces/Fablab* – seus objetivos e características, para que se possa obter uma melhor compreensão dos usos e finalidades dados ao material estudado.

MAKERSPACES/FABLAB

Os *makerspaces* e *Fab Labs* são espaços de experimentação destinados à fabricação digital, mesclando o saber formal e acadêmico (de universidades e centros de pesquisa) à experimentação informal dos mesmos e, assim, desafiando e complementando os ambientes formais e acadêmicos (FRESSOLI; SMITH, 2015, tradução nossa). Surgiram em decorrência da disseminação das novas tecnologias na área da fabricação digital – impressoras 3D, máquinas de corte a laser, torno, fresadoras de controle numérico (CNC) – e possuem como atributos a acessibilidade, a flexibilidade, assim como o baixo custo de aquisição, uso e manutenção (COSTA; PELEGRINI, 2017). Nesse cenário, o advento desses tipos de estabelecimento torna possível a aprendizagem e compartilhamento de conhecimentos entre os usuários, de maneira que esses utilizem os maquinários disponíveis de forma independente a partir de experimentações e pesquisas.



Além de possibilitar a aprendizagem e o compartilhamento de conhecimentos, os espaços de fabricação digital promovem o desenvolvimento socioeconômico e a inclusão, favorecendo de grandes empreendedores a pequenas empresas (FRESSOLI; SMITH, 2015). De acordo com Costa e Pelegrini (2017), essas organizações são implantadas em diversas localidades – centros comunitários, escolas, Universidades, espaços privados, garagens – e são usufruídas por indivíduos de diversas faixas etárias e níveis de conhecimento; o objetivo desses espaços depende dos fins de seus fundadores e das demandas dos usuários, observadas de acordo com o desenvolvimento das atividades. Assim, a disseminação desses espaços permite que regiões atendidas por eles tenham um maior acesso à informação e ao conhecimento técnico-científico minimizando, dessa forma, a desigualdade digital.

Segundo Eychenne e Neves (2013), os *Fab Labs* possuem pontos em comum definidos pela carta de princípios da *Fab Charter*; um conjunto de máquinas padrão e uma rede internacional; e se diferenciam uns dos outros por sua organização de suporte, modo de financiamento e pela equipe responsável pelo laboratório. Os *Fab Labs* são classificados em três modelos:

(1) Acadêmicos (mantidos por universidade/ escola): atendem a comunidade estudantil e alguns usuários externos; frequentemente ofertam workshops para que o corpo estudantil possa acessar a um preço acessível o maquinário disponível; por dependerem das universidades/escolas, são mantidos por autoridades locais e parcerias privadas, seu modelo não é sustentável pelo fato de sua receita não cobrir as despesas totais do espaço (EYCHENNE; NEVES, 2013);

(2) Profissionais (mantidos por empresas/ startups/ auto-empresendedores/ *makers*): objetivam desenvolver produtos em conjunto com seus mantenedores; disponibilizam a utilização dos maquinários e/ ou participação em atividades do laboratório a custo zero (“*Open Lab*”), pelo menos um dia por semana, para os usuários; preocupam-se com a sustentabilidade financeira de seu modelo, já que, apesar de nos primeiros anos se beneficiarem de auxílio público/ investimento inicial de associação de indústrias/ governo local, não são financiados por tempo indeterminado (EYCHENNE; NEVES, 2013);

(3) Públicos (mantidos por governo/ institutos de desenvolvimento/ comunidades locais): podem utilizados por todos gratuitamente; são ofertados workshops e cursos de



formação para que diversos tipos de público tenham acesso ao espaço (EYCHENNE; NEVES, 2013);

Dos 973 *Fab Labs*, presentes em 97 países, reconhecidos pela *Fab Foundation*, 31 ficam no Brasil. Entretanto, nem todos existentes no Brasil tem vínculo com a *Fab Foundation*, ainda que cumpram os critérios definidos pela mesma. Cerca de 58 *Fab Labs*, *makerspaces* e laboratórios de fabricação digital estão em funcionamento em 24 cidades, desses, 29 (50%) são laboratórios hospedados, 17 (29,3%) são fundadas por indivíduos e grupos independentes e 12 (20,7%) são públicos ou livres (COSTA; PELEGRINI, 2017). A maior parte dos *makerspaces* e *Fab Labs* está concentrada na região Sudeste e Sul, tornando a sua distribuição heterogênea dentro do território brasileiro (COSTA; PELEGRINI, 2017). No Estado do Pará, há apenas 2 espaços instalados e em funcionamento – sejam *makerspaces*, *Fab Labs* (homologados ou não) e laboratórios de fabricação digital – o *Fab Lab* Belém, localizado no Espaço Inovação do Parque de Ciência e Tecnologia Guamá (PCT) da Universidade Federal do Pará (UFPA); e o Lab Mocarongo, localizado na cidade de Santarém (COSTA; PELEGRINI, 2017). Nesse contexto, apesar desses espaços terem como premissa o aprendizado colaborativo, o compartilhamento de conhecimentos, a autonomia e independência para a inovação, a pouca distribuição e/ou não existência desses espaços dificulta o acesso ao conhecimento técnico-científico e cumprimento dessas.

Destarte, o surgimento de novas tecnologias que possibilitam não só a inclusão digital como a criação de novos materiais, a partir do aprendizado colaborativo e da troca de compartilhamentos são extremamente benéficos para a sociedade brasileira que é tão marcada pela desigualdade social. O incentivo a autonomia de pesquisa e inovação proporcionadas pelo movimento *maker* é imprescindível para que se criem modelos de educação, e pesquisa para que se possa viabilizar a criação, a elaboração e a disseminação de produtos. Conhecendo-se os objetivos e características dos *makerspaces/Fab Labs* é possível compreender seus *modus operandi* e seu impacto nas relações de produção, já que esses buscam democratizar o processo de aprendizado e criação por meio do compartilhamento de experiências e conhecimento. A compreensão de como se dá o processo de impressão 3D e do uso do PLA para tal fim, é importante para que se tenha uma visão holística de como esses elementos funcionam e quais possibilidades podem ser exploradas dentro da Economia Circular.



O ÁCIDO POLILÁTICO (PLA) E O PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D é um processo de manufatura aditiva ou prototipagem rápida, que se utiliza de matérias-primas como o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e o Polilático (PLA) como filamentos. O PLA, é um dos filamentos mais empregados no processo de impressão 3D; é um bioplástico, biocompatível e biodegradável, oriundo da síntese do ácido láctico – o qual é obtido de fontes renováveis amido de milho, cana-de-açúcar, raízes de tapioca e amido de batata (BESKO et al., 2017).

O processo de prototipagem rápida permite uma ampla variedade de possibilidades na fabricação de peças e produtos; o PLA (principal filamento utilizado na prototipagem) é um material fácil de ser trabalhado, além de ser atóxico e biodegradável, sendo a opção mais sustentável para impressão 3D (BESKO et al., 2017). No entanto, durante o processo de impressão 3D podem ocorrer falhas que inviabilizem a utilização do produto ou componente impresso, fazendo com que ele seja descartado, gerando o que chamamos neste trabalho de resíduos da impressão 3D.

Dentre os fatores que contribuem com a ocorrência de falhas no processo de impressão com o PLA, destacam-se a maior facilidade de entupimento do bico da extrusora; a pouca resistência mecânica, que o torna quebradiço e não recomendado para o uso em peças que requerem uma resistência mecânica maior; e a facilidade que o material tem em absorver a umidade do ar, necessitando de uma maior temperatura de extrusão durante o processo (BESKO et al., 2017). Nesse processo, não há autoridade ou norma para a regulamentação ou padronização em relação às características técnicas que os filamentos devem apresentar (SANTANA et al., 2016). Dessa forma, os parâmetros de processamento podem ser variados de acordo com o material e/ou fornecedor do filamento, podendo um produto do mesmo material não ter as mesmas características dependendo do laboratório, do local de realização da impressão. Nesse contexto, os resíduos gerados no processo de fabricação digital serão submetidos ao processo de reciclagem e a mistura com outros materiais (como fibra de juta e pó de madeira) para a composição de novos, gerando os compósitos de matriz polimérica de PLA.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar possibilidades de aproveitamento dos resíduos de PLA originados do processo de impressão 3D, por meio de experimentos conduzidos no



Laboratório de Materiais e Design da Universidade do Estado do Pará (UEPA). Os resíduos de PLA serão utilizados na elaboração de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais como juta, madeira e açáí.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração dos compósitos deste trabalho foi utilizado como matriz aparas de PLA obtidas como resíduos de fabricação digital (Figura 1), e como reforço as fibras de juta coletadas com 15mm, açáí, e o pó de madeira (Figura 2). Todo o material foi fornecido pelo Laboratório Materiais e Design, assim como todos os procedimentos foram realizados no mesmo laboratório.

Figura 1: Resíduos de PLA e processos de Produção



Fonte: Autoras, 2019

Figura 2: Fibra de açáí (à esquerda) e fibras de juta (à direita) utilizadas no compósito



Fonte: Autoras, 2019



As aparas de PLA foram selecionadas, lavadas e secas, e depois foram submetidas a tratamento térmico em recipiente de alumínio até sua temperatura de fusão (...). para elaboração dos compósitos o PLA fundido foi misturado com fibra de juta com comprimento médio de 15 mm; pó de madeira e fibras de açaí, todos previamente secos em estufa para retirada de umidade. o material depois de homogeneizado foi vazado em moldes de silicone. Após o resfriamento do material, ele foi retirado dos moldes para visualização de seus aspectos macroscópicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir disso, foi possível desenvolver duas placas de compósito polimérico de matriz de PLA, a primeira tem como reforço o pó de madeira (Figura 3), e a segunda utiliza como reforço a fibra de juta (Figura 4). Posteriormente foi produzido um copo com o compósito de PLA e fibra de açaí (Figura 5) Ressalta-se que são necessários testes de resistência e outros que possibilitem conhecimentos mais aprofundados sobre o material desenvolvido, a fim de averiguar as propriedades físicas dos materiais, para determinar outros tipos de aplicação em produtos industriais ou até mesmo em produtos regionais de fabricação em pequena escala.

Figura 3: Placa de compósito polimérico de matriz de PLA reforçado com pó de madeira



Fonte: Autoras, 2019



É importante citar que apesar dos materiais desenvolvidos não passarem pelo processo de testes de resistência e outros, pode-se notar as características estéticas, sendo que o mesmo pode ser moldado em diferentes formatos.

Figura 4: Placa de compósito polimérico de matriz de PLA reforçados com fibra de juta



Fonte: Autoras, 2019

Entende-se que a participação entre a universidade e os *Fab Labs* se torna benéfica na medida em que traz benefícios tanto para a pesquisa científica (desenvolvimento de novos materiais) quanto para o meio ambiente – ao evitar que os resíduos da fabricação digital sejam descartados inadequadamente.

Figura 5: Copo produzido com compósito polimérico de PLA reforçado com fibra de açai



Fonte: Autoras, 2019



A partir dos conceitos abordados e os resultados alcançados, infere-se que a produção de novos materiais a partir da reciclagem de plásticos (especialmente os oriundos da fabricação digital) com uso de fibras vegetais, traz benefícios ao meio ambiente – ao evitar que estes materiais sejam descartados de maneira inadequada, gerando desperdício, ou até mesmo prejuízos a sociedade – além de contribuir para o crescimento da economia circular e o desenvolvimento local, por meio do ciclo de vida do material dependendo do tipo de aplicação que se dá ao compósito.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de fibras naturais ao PLA reciclado dará mais resistência ao material, ampliando suas possibilidades de aplicação e, por consequência, seu período de vida útil. O material formado poderá ser chamado de biocompósito, pois a matriz é obtida de fontes renováveis e é biodegradável, assim como o reforço de fibras vegetais. Os resíduos de PLA gerados em escritórios de fabricação digital podem agora ser reaproveitados pelo processo de reciclagem, não sendo mais destinados ao aterro sanitário/lixão da cidade, possibilitando a maior eficiência desse recurso, por meio de sua utilização e valor expressivos. O PLA é uma matéria-prima cara e a proposta de aproveitar os resíduos contribui para o ensino e pesquisa na área de polímeros e compósitos, além de contribuir para o aproveitamento total desse material, possibilitando sua aplicação em diversas áreas e produtos de maneira a prolongar seu ciclo de vida, e como sugestão para trabalhos futuros fica a caracterização física mecânica e a morfologia de sua microestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão, Tecnologia e Inovação**, Curitiba, v. 01, n. 3, p. 9-18, set/dez. 2017. Disponível em: <http://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Economia circular**: Oportunidades e desafios para a indústria brasileira. Brasília: CNI, 2018. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/2f/45/2f4521b9-d1eb-44f7-b501-cda01254738a/miolo_economia_circular_pt_web.pdf. Acesso em: 05 mar. 2019.

COSTA, Christiane Ogg; PELEGRINI, Alexandre Vieira. O design dos Makerspaces e dos Fablabs no Brasil: um mapeamento preliminar. **Design e Tecnologia**, [S.l.], v. 7, n. 13, p. 57-66, jun. 2017. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/det/index.php/det/article/view/375>. Acesso em: 01 abr. 2019.



DE MORAES, Dijon. **Metaprojeto: o design do design**. São Paulo: Blücher, 2010.

DIEGEL, Olaf; SINGAMNENI, Sarat; REAY, Stephen; WITHELL, Andrew. Tools for Sustainable Product Design: Additive Manufacturing. **Journal of Sustainable Development**, Auckland, v. 3, n. 3, p. 68-75, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/45718362_Tools_for_Sustainable_Product_Design_Additive_Manufacturing. Acesso em: 22 mar.2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à economia circular: O racional de negócios para acelerar a transição**. 2015. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a%CC%80economia-circular_Updated_08-12-15.pdf. Acesso em: 15 fev. 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A nova economia do plástico: Repensando no Futuro**. 2016. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/NPEC-portuguese_1.pdf. Acesso em: 15 fev. 2019.

EYCHENNE, F.; NEVES, H. **Fab Lab: A Vanguarda da Nova Revolução Industrial**. São Paulo Editorial Fab Lab Brasil, 2013.

FRESSOLI, Mariano; SMITH, Adrian. Fabricación Digital. ¿Una Nueva Revolución Tecnológica?. **Integración y Comercio**, n. 39, p. 112-125, out. 2015. https://www.researchgate.net/publication/282870488_FABRICACION_DIGITAL_UNA_NUEVA_REVOLUCION_TECNOLOGICA. Acesso em: 02 out. 2019.

MANZINI, Carlos; VEZOLLI, Carlos. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.

NERY, Suzana Maia; FREIRE, Amanda Silveira. A Economia Circular e o cenário no Brasil e na Europa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37., 2017, Joinville. **Anais...** Joinville, 2017. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_248_434_33222.pdf. Acesso em: 05 mar. 2019.

RIBEIRO, Flavio de Miranda; KRUGLIANSKAS, Isak. A Economia Circular no contexto europeu: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das Políticas de Resíduos Sólidos. **ENGEMA – Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, 2015. Disponível em: <<http://www.engema.org.br/XVIENGEMA/473.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

SANTANA, Leonardo; AHRENS, Carlos Henrique; NETTO, Aurélio da Costa Sabino; OLIVEIRA, Guilherme Mariz Barra de; MERLINI, Cláudia. Avaliação da Composição Química e das Características Térmicas de Filamentos de PLA para Impressoras 3D de código aberto. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 9., 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/28710774/AVALIA%C3%87%C3%83O_DA_COMPOSI%C3%87%C3%83O_QU%C3%8DMICA_E_DAS_CARACTER%C3%8DSTICAS_T%C3%89RMI



CAS_DE_FILAMENTOS_DE_PLA_PARA_IMPRESSORAS_3D_DE_C%C3%93DIGO_ABERTO. Acesso em: 15 fev. 2019.

SILVA, C.O; SILVA, L.N.; SANTOS, G.M. A Degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 13, n. 13, p. 2683-2689, 13 ago.2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/8248/pdf>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SILVA, Eduardo Polloni. Economia Circular – Você sabe o que é Cradle-To-Cradle®? (Parte 1/3), 2016a. **Revista Digital: Negócios & Carreiras**. Disponível em: <http://negociosecarreiras.com.br/economia-circular-voce-sabe-o-que-e-cradle-to-cradle-parte-1-de-3/>. Acesso em: 21 abr. 2016.

SILVA, Eduardo Polloni. Economia Circular – Os ciclos e a certificação Cradle-To-Cradle®? (Parte 2/3), 2016b. **Revista Digital: Negócios & Carreiras**. Disponível em: <http://negociosecarreiras.com.br/economia-circular-os-ciclos-e-certificacao-cradle-to-cradle-parte-23/>. Acesso em: 21 abr. 2016.